

В представленной работе определено место отопительных котлов малой производительности в общем топливно-энергетическом балансе страны и сделан вывод об актуальности проблемы повышения их эффективности. В качестве объекта исследования приняты процессы, происходящие в системе индивидуального отопления при использовании двухпозиционного регулирования тепловой нагрузки. Математическая модель процесса изменения температуры теплоносителя во времени достигнута для случая с постоянной температурой воздуха в обслуживаемом помещении. Математически сформулирована более сложная модель с одновременным изменением температур теплоносителя и воздуха помещения с разработкой первой стадии нахождения общего решения системы дифференциальных линейных неоднородных уравнений. Обоснована целесообразность применения для дальнейшего поиска решения поставленной задачи численных методов.

1.Петренко В.О., Петренко А.О. Экономия энергоресурсов системами жизнеобеспечения зданий за счет прерывистой подачи тепла // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. Вып.47. – Днепропетровск: ПГАСА, 2008. – С.454-459.

2.Павлов И.Д., Терех М.Д., Арутюнян И.А. Инновационный подход к управлению организационно-техническими мероприятиями в городском строительстве и хозяйстве // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. науч. тр. Вып.47. – Днепропетровск: ПГАСА, 2008. – С.445-450.

3.Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Теплоэнергетика и теплотехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 552 с.

Получено 19.09.2008

УДК 628.8

В.В.ГРАНКИНА, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ДИАГНОСТИКА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ПОВРЕЖДЕНИЯ СОЛЕВЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ

Рассматривается вопрос диагностики теплотехнических систем на повреждения солевыми отложениями при применении кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.

Для диагностики теплотехнических систем на наличие солевых отложений важным вопросом является выбор объекта диагностики, а также параметров, позволяющих контролировать состояние объекта. Объектом диагностики должен быть элемент, наиболее подверженный солевыми отложениями и который является важным элементом системы для обеспечения технологического процесса.

Рассмотрим в качестве объекта диагностики для теплотехнической системы – теплообменный аппарат (кожухотрубчатый). Опреде-

лим для выбранного объекта диагностики параметры, согласно которым будет осуществляться контроль за наличием солевых отложений на теплообменной поверхности. Зададим для объекта информационную структуру (рис.1), из которой видна функциональная взаимосвязь переменных основных параметров. Это – расход, температура воды, поверхность нагрева теплообменного аппарата, его тип и коэффициент теплопередачи. Тип теплообменника и его поверхность являются фиксированными параметрами.

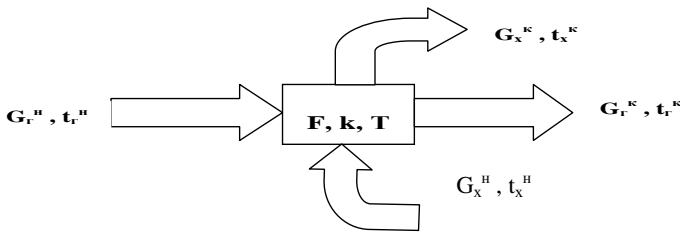


Рис.1 – Информационная структура:

F – поверхность теплообмена; k – коэффициент теплопередачи; T – тип теплообменного аппарата; G_r^n, t_r^n – начальная температура горячего (холодного) потока; t_r^k, t_x^k – конечная температура горячего (холодного) потока.

Для оценки повреждений теплообменного аппарата солевыми отложениями можно использовать показатель эффективности процесса теплообмена, который связан с гидравлическим сопротивлением в аппарате или использовать оценку термического сопротивления солевых отложений. Значение теплового сопротивления отложений при проектировании используют как постоянную величину, которое будет достигнуто через определенный интервал времени, по истечению которого «пользователь» оборудования выполнит ремонт оборудования.

На практике используют два метода оценки величины термического сопротивления отложений теплопередающих поверхностей [1].

Метод непосредственного учета значений величины термического сопротивления при вычислении коэффициента теплопередачи

$$K_{oml} = \frac{1}{\frac{1}{K} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}},$$

где δ_1, δ_2 – толщины слоев отложений с обеих сторон стенки; λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности материала загрязнений с обеих сторон.

Данный метод практически трудно реализуем, так как мы не полагаем толщинами слоя загрязнений и оценкой их коэффициента теплопроводности.

Косвенный метод учета отложений характеризуется введением эмпирического коэффициента использования поверхности нагрева в значениях коэффициента теплопередачи. Недостатком метода является то, что не учитываются изменения значений величин термического сопротивления отложений в процессе эксплуатации системы.

Получают достаточно надежные данные о гидравлических сопротивлениях по геометрическим формам и размерам твердого тела, а также гидродинамическим и тепловым состояниям жидкости.

Известны работы [1-4], в которых проводится определение накипи динамикой изменения термических сопротивлений, в некоторых частных условиях при постоянном составе воды. Отдельно определено влияние взвешенных в воде дисперсных частиц и микроорганизмов на скорость образования отложений.

Обобщение результатов большинства исследований представлялись в виде экспериментальной зависимости коэффициента теплопередачи от времени

$$k_{\tau} = a e^{b\tau},$$

где a , b – коэффициенты, зависящие от режимов работы и качества воды; τ – время работы.

В работе [5] количество карбонатных отложений, образующихся в системах оборотного водоснабжения при установившемся режиме работы, предлагается определять по формуле

$$X = \left[(P_1 + P_2 + P_3) \text{Щ}_\partial - (P_2 + P_3) \text{Щ}_{\text{об}} \right] \frac{Q}{100} \Delta t E,$$

где P_1 , P_2 , P_3 – потери воды соответственно на испарение, капельный унос и сброс (продувку), выраженные в процентах от расхода оборотной воды; Щ_∂ – щелочность добавочной воды; $\text{Щ}_{\text{об}}$ – щелочность оборотной воды; Q – расход оборотной воды в системе; Δt – период времени; E – эквивалентный вес карбоната кальция, равный 50 г/г-экв.

Рассмотренный метод рассчитан на закрытый цикл и предполагает наличие градирни в цикле. К тому же этот метод не учитывает температуры формирования солевых отложений, их пористость и теплопроводность, что важно для диагностики теплообменного аппарата и определения эффективности его работы.

Авторы работ [6, 7] при систематизации экспериментальных данных для построения расчетной модели процесса в качестве определяющих параметров использовали не только качество воды и темпера-

туру стенки, но и состояние теплообменной поверхности, прочность отложений. Однако работа закончилась неудачей, авторы вынуждены были признать уникальность процессов формирования отложений.

В настоящее время существует методика определения средней толщины накипи для водонагревателей [7]. Она определяет период необходимости чистки трубок теплообменного аппарата. Определение толщины накипи осуществляется по некоторой совокупности параметров – температуры воды на выходе из аппарата, коэффициента теплопередачи и расхода воды. Методика имеет ряд недостатков, она не учитывает температуру формирования отложений, пористость и теплопроводность накипи.

Существует методика расчета термического сопротивления, которая учитывает пористость и теплопроводность отложений в зависимости от температуры их формирования [2]. Она позволяет более достоверно определить количество отложений в аппарате.

Положения, рассматриваемые в этой методике: анализ опыта эксплуатации теплообменников, определение основных накипеобразующих элементов из состава воды; определение коэффициента теплопроводности образцов различных отложений; исследование структурных особенностей, а именно определение взаимосвязи пористости отложений с рабочими параметрами; исследование влияния конструктивных и технологических параметров теплообменного аппарата на массовую скорость образования отложений.

Недостаток методики в том, что при определении текущего коэффициента теплопередачи не учитывается тип теплообменного аппарата, а следовательно вид движения потоков в нем, что не может не отразиться на определяемом значении удельного слоя загрязнения накипью.

Таким образом, для диагностики теплотехнических систем необходимо разработать методику для определения повреждения объекта солевыми отложениями с учетом следующих параметров: температуры входа и выхода воды из теплообменного аппарата; площади поверхности теплообмена теплообменного аппарата; пористости и теплопроводности отложений с учетом температуры их формирования; коэффициента теплопередачи стенки; типа теплообменного аппарата и вида движения потоков.

Коэффициент теплопередачи является одним из определяющих факторов для всех рассмотренных методик диагностирования. Он зависит от конструктивных параметров, свойств среды и материала. Коэффициент теплопередачи – это величина, обратная термическому со-

противлению, и определяется для цилиндрической стенки по формуле

$$k_m = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\alpha_2 d_2} + \sum \frac{r_{загр}}{d_{загр}}},$$

где k_m – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К; α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи «горячего» и «холодного» теплоносителя, Вт/м²·К; d_1, d_2 – внутренний и внешний диаметры трубы, м; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К; $d_{загр}$ – диаметр труб с учетом слоя загрязнения, м; $r_{загр}$ – термическое сопротивление загрязнения, м²·К/Вт.

Из уравнения определяем термическое сопротивление загрязнения накипью

$$r_{загр} = d_{загр} \left(\frac{3,14}{k_m} - \frac{1}{\alpha_2 d_2} - \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} - \frac{1}{\alpha_1 d_1} \right).$$

Для определения диаметра трубок с загрязненной поверхностью солевыми отложениями, найдем удельное количество отложений, которое взаимосвязано с динамикой изменения коэффициента теплопередачи математической зависимостью [2]

$$g = \lambda(1 - P) \rho \left(\frac{1}{k_m} - \frac{1}{k_0} \right),$$

где λ , P – теплопроводность и пористость отложений, Вт/м·К, %; ρ – плотность беспористой структуры материалов отложений для плотных аналогичных материалов (2400 кг/м³); k_m, k_0 – текущий и начальный коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К.

Значения теплопроводности и пористости определим в зависимости от температуры их формирования по эмпирическим формулам, которые получены нами из экспериментальных данных (рис.2, 3), приведенных в работе [2].

Эмпирическая формула для определения теплопроводности имеет вид:

$$y = 0,0002x^2 - 0,0182x + 0,5385,$$

где x – температура формирования отложений.

Эмпирическая формула для определения пористости

$$y = 0,0048x^2 - 0,8803x + 46,804,$$

где x – температура формирования солевых отложений.

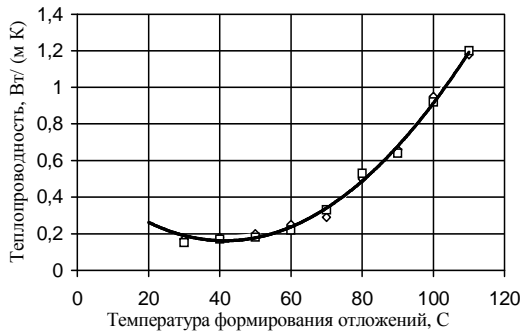


Рис.2 – Теплопроводность отложений в зависимости от температуры формирования

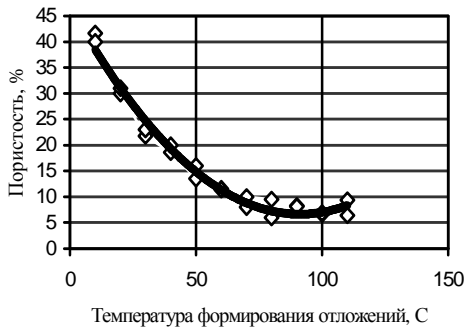


Рис.3 – Пористость отложений в зависимости от температуры формирования

Достаточно высокие степени рекуперации теплоты (в кожухотрубчатых теплообменных аппаратах) могут быть достигнуты при организации противоточного движения потоков по модели идеального вытеснения. Поэтому текущий коэффициент теплопередачи (k_m) кожухотрубчатых аппаратов определим из модели идеального вытеснения по изменению температур «горячего» и «холодного» потоков по длине аппарата в стационарном режиме работы, который описывается системой уравнений:

$$G_z C_{pz} \frac{dt_z}{d\tau} = \frac{k_m F}{l} (t_x - t_z); \quad G_z C_{px} \frac{dt_x}{d\tau} = \frac{k_m F}{l} (t_z - t_x),$$

где $G_z(x)$ – массовый расход горячего (холодного) потока, кг/с; $G_{pz}(x)$ – теплоемкость горячего (холодного) потоков, ккал/кг °С; l – длина теплообменника, м; $t_z(x)$ – температура горячего (холодного) потока, °С; k_m – коэффициент теплопередачи, ккал/м² °С; F – поверхность теплообмена, м².

После интегрирования уравнений получим температуры «горячего» и «холодного» потоков для противотока.

Имея значения температур воды t_z^h , t_z^k , t_x^h на выходе и входе, можно определить начальный и текущий коэффициент теплопередачи по формуле

$$k_m = - \frac{\ln \left[\frac{G_x C_{px} (t_z^k - t_x^h)}{t_z^k G_z C_{pz} - t_z^h G_z C_{pz} + t_z^h G_x C_{px} - t_x^h G_x C_{px}} \right]}{F \left(\frac{1}{G_z C_{pz}} - \frac{1}{G_x C_{px}} \right)},$$

где t_z^k , t_x^k – конечные температуры горячего (холодного) потока, °С;

t_z^h , t_x^h – начальные температуры горячего (холодного) потока, °С.

Общий вес накипи в аппарате можно найти из выражений:

$$P = \Pi \cdot d \cdot H \cdot g,$$

где d – внутренний диаметр трубки, м; Π – пористость отложений, %; H – высота аппарата, м; g – удельное количество отложений, кг/м²;

$$P = \frac{\Pi \cdot H \cdot \rho}{4} (d^2 - d_1^2),$$

где ρ – удельный вес отложений, кг/м³; d_1 – внутренний диаметр трубки с отложениями, м.

Приравняв выражения, находим d_1 , который равен:

$$d_1 = \left(d^2 - \frac{4g}{\rho} \right)^{1/2}.$$

Толщина слоя отложений δ будет равна:

$$\delta = \frac{d - d_1}{2},$$

где d – внутренний диаметр трубки теплообменного аппарата, м; d_1 – внутренний диаметр трубки с отложениями, м.

Погрешность в определении значения коэффициента теплопередачи по разработанной нами методике составляет 12%, что является вполне приемлемой величиной для определения количества отложений на теплообменной поверхности аппарата.

1. Пугач В.В. Перспективы развития производства теплообменных аппаратов с полимерными покрытиями // Современные тенденции конструирования, технологии изготовления и расчета теплообменного оборудования: Сб. науч. тр. – М., 1992. – С.5-17.

2. Бубликов И.А., Миропольский З. Л., Новиков Б. Е. Исследование термического сопротивления отложений в теплообменниках, охлаждаемых технической водой // Теплоэнергетика. – 1992. – №5. – С.71-74.

3. Watkinson M.P., Louis L., Brent R. Scaling of Enhanced Heat Exchanger Tubes // The Canadian Journal of Chemical Engineering. – 1974. – Vol. 52. October. – P.558-562.

4. Rabax M.A., Eldighige S.A., Aboukhashaba A.A. Effect of calcium cation (Ca^{++}) on the of deposition of iron oxide on heated surfaces in boiling water // Journal of the Institute of energy. – 1984. – Vol. 57. № 433. – P.421-426.

5. Бондарь Ю.Ф., Гронский Р.К. Методические указания по эксплуатации бессточных систем охлаждения. МУ 34-70-115-85 Ю. – М.: СПО Союзтехэнерго, 1986. – 35 с.

6. Taborek J., Aoki T., Ritter R. a.o. Methods for Fouling Behavior // Chemical Engineering Progress. – 1972. – Vol. 68. № 7. – P.69-78.

7. Царик Д.Ф. Методика определения средней толщины слоя накипи // Водоснабжение и санитарная техника. – 1990. – № 7. – С.9-10.

Получено 11.09.2008

УДК 620.193

С.В. НЕСТЕРЕНКО, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОЦЕССОВ КОРРОЗИИ И НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ НА ТЕПЛООБМЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ

Рассматривается технология обработки подпиточной воды для предотвращения процессов коррозии и накипеобразования на теплообменных поверхностях. В качестве реагентов для уменьшения указанных процессов используются фосфорорганические комплексоны и ингибиторы коррозии.

Недостатками умягчения воды натрий-катионированием являются непрерывное потребление привозной соли, расход свежей воды на собственные нужды химводоочистки и загрязнение водоемов сточными водами, содержащими большое количество хлоридов, причем нейтрализация и утилизация засоленных сточных вод котельных является одной из экологических проблем. В настоящее время затраты на реализацию различных предложений по обработке и утилизации стоков зачастую превышают стоимость самой водоподготовки. Современное состояние отечественной экономики и окружающей среды диктует